108 エレベーター向け画像応用防犯センサ*

林 健太郎 (三菱電機), ○関 真規人 (三菱電機), 塩崎秀樹 (三菱電機ビルテクノサービス)
文屋 太陽 (三菱電機), 森 光正 (三菱電機), 濱地 浩秋 (三菱電機)

Visual Sensor in Elevator for Crime-Prevention

Kentaro Hayashi, Mitsubishi Electric Co., Makito Seki, Mitsubishi Electric Co.,
Hideki Shiozaki, Mitsubishi Electric Building Techno-Service Co.,
Akira Fumiya, Mitsubishi Electric Co.,
Mitsumasa Mori, Mitsubishi Electric Co., and Hiroaki Hamaji, Mitsubishi Electric Co.

This paper presents a new critical event detection method simplified for an embedded appliance mounted on an elevator car. We first define that the critical event is unusual action such as violent action, counteraction, etc, and introduce the violent action degree(VAD). We use an optical flow based method to analyze the current state of the motion through an ITV(Industrial Television) camera. After motion analysis, we calculate a normalized statistical value, which is the VAD. The statistical value is the multiple of the optical flow direction variance, the optical flow magnitude variance, and optical flow area. Our method calculates the statistical value variance and normalize it by the variance. At last we can detect critical event by thresholding the VAD. In addition, we should detect persons and objects staying in an elevator for a long time. For this purpose, we apply texture background subtraction method. Our violent action detection method detects 80% of critical events where at most 6% of false acceptance and object detection method detects 99% where about 1% of false acceptance.

Key Words : elevator, ITV camera, crime-prevention, optical flow, texture background subtraction

1. は じ め に

Table1 は, 日本エレベーター協会が 2000 年から 2003 年に発行した「協会速報」⁽¹⁾に掲載されたエレベーターかご内犯罪事例の, 筆者らによる分類結果である。犯罪件数は 37 件あり, そのうち加害者が殴る／蹴るなどの暴力¹をふるったり, 被害者が抵抗したりした犯罪は 18 件(約半分)あった。本論文ではこうした犯罪行為や, 事故につながる閉じ込めを検知する手法について述べる。具体的には当事者の暴力や抵抗動作(これを**暴れ**と呼ぶ)をリアルタイムで検出し, また人物の有無を高精度で検出するエレベーター用組込み画像応用システムについて述べる。

動画像からの人物動作解析に関するこれまでの研究では, 主に人物に取り付けたマーカや身体の一部を特徴点として検出し, 時空間的に追跡するアプローチが採られてきた⁽²⁾。なかには, ステレオ視を利用することで, 人物の服装や照明条件への頑健性を高めたものもある⁽³⁾。しかし, 一般的に, エレベーターを利用する不特定多数の人にマーカを取り付けることや, 狭いエレベーターかご内で特定部分が常に見えるようにカメラを配置することは難しい。また, このようなセグメンテーションを伴うミクロの手法を高速・高精度に実現するには, 高価なハードウェアリソースと多数のパラメータ調整が必要となり, 組込みシステムにとっては望ましくない⁽⁴⁾。

人物動作をマクロ的にとらえる手法には, 動画像の時空間

Table 1 Crime type analysis. Number of crimes from 2000 to 2003.

crime type	type				total
	A [†]	B [†]	C [†]	D [†]	
robbery with violence	10		1		11
robber		4		11	15
grabber		1		2	3
murder				2	2
immorality	1			2	3
trick		1			1
fire				2	2
total	11	6	1	19	37

[†]A is violence by assailant, B is resistance by victim, C is violence and resistance, D is unknown.

エッジ特徴を DP マッチングする方法がある⁽⁵⁾。また, 画像上のオブティカルフローにより動き特徴を抽出し, 隠れマルコフモデル (HMM) で認識を行った研究がある⁽⁶⁾。これらの手法は, 人物の服装や照明条件の変化に左右されにくく, 多クラスの識別問題が扱える点で有効である。ただし, 背景物体の動きに対しては課題が残っており, 窓付きエレベーターなどでは使えない。

一方エレベーターかご内における人物の有無は, 人物の出現によって生じる画像上の変化を捉えることによって判断することができる。これを実現する代表的な方法としては背景差分法がよく知られている。背景差分法は背景画像と入力画像との輝度値を比較することで, 効率よく変化領域を抽出す

* 原稿受付平成 17 年 11 月 25 日

¹刃物の突き付け, 絞首, 羽交締めなど, 動きの少ないものは除く。

る方法であるが、窓付きエレベーターでは人物の出現以外に外界の日照変化によっても画像が変化するという問題がある。

そのような照明条件が変化する環境下で背景差分を実現するために、画像上の輝度の空間的な分布形状(テクスチャ)に着目した方法が提案されている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。なかでも、松山ら⁽⁸⁾は、テクスチャの変化とその変化の空間的な一様性を評価する頑健な背景差分(以下ではテクスチャ背景差分と呼ぶ)を実現した。そこで、本研究では、このテクスチャ背景差分を採用し、人物有無検知への適用を図る。

本論文では、エレベーターへの組込みを目的に、オプティカルフローの統計量をマクロに評価する暴れ検出アルゴリズムと、閉じ込めなどを検知するのに必要となる人物有無を検知するアルゴリズムを提案する。提案手法では、平常時の人物動作は単調であるが、暴れ動作は、上記の組み合わせよりも複雑であると仮定し、画像全点で求めたフローベクトルの向きと大きさのばらつき、および個数を評価することで、暴れ動作か否かの2クラス識別問題を簡便に解く。また人物の有無は、エレベーターの照明の変化や窓付きエレベーターでの外光の影響に頑健な、テクスチャ背景差分方式を用いて高精度に検知する。

以下では、まず暴れ動作時のフローにばらつきが見られることを示し、その後暴れ検出アルゴリズムを示す。次にエレベーター内の照明変化について述べ、これに適する人物有無検知アルゴリズムを示す。最後に、犯罪模擬映像に対する暴れ検知結果、および通常乗降時の人物有無検知結果を示して提案システムの有効性を明らかにする。

2. フローのばらつき

本論文では、人物の服装や照明条件の変化に左右されにくいマクロな特徴量を得るために、画像全点でのオプティカルフローを用いる。オプティカルフローは、画像上の各点における移動量と方向を表したもので、時間的に連続した画像間の対応点を探索することで求められる。

ここで Fig.1 に示すエレベーターのかご内映像を用いて、暴れ動作時のフローにばらつきが見られることを検証する。そのため、典型的なフロー検出手法のひとつの SAD(Sum of Absolute Difference) ブロックマッチングによりフローを算出し、フローベクトルの向き(8方向)と大きさ(4段階)のヒストグラムを求めた。まず、平常時と暴れ動作時²のある瞬間におけるヒストグラム例をそれぞれ Fig.2 の(a),(b)に示す。これらの図を比較すると、平常時のフローには偏りがあり、逆に、暴れ動作時のフローにはばらつきがあることが分かる。

また、これらフローのばらつき度合を標準偏差値として求め、(平均的なばらつきで正規化した後)所定時間区間においてプロットしたものを Fig. 3 に示す。縦軸が向きのばらつき度合、横軸が大きさのばらつき度合を表している。図を見ると、暴れ動作時には平常時に比べ、向きのばらつきと大きさのばらつきが共に大きい場合がある。暴れ動作中のすべての時間において、この大きなばらつきが観測されるわけではないが、ばらつき度合を評価していれば、少なくとも、ばらつ

(a) Usual

(b) Violent action

Fig. 1 ITV camera images in a non-window door elevator car.

(a) Usual

(b) Violent action

Fig. 2 Histogram of optical flows at usual and violent action.

(a) at usual

(b) when violent action occurs

Fig. 3 Standard deviation of optical flow when usual and violent action occurs.

きが大きな瞬間に暴れを発見することができると考えられる。

提案手法では、この「向きのばらつき」と「大きさのばらつき」を暴れ検出の評価尺度とする。また、絶対的な動きの量に制限を設けるために、「フローの個数」を尺度に加え、3つのマクロな統計量により暴れを判定することにした。

3. 暴れ検出アルゴリズム

エレベーターかごにはさまざまな意匠がある。壁の色・模様、窓の有無、照明の明るさ、大きさの違いなどがある。また、監視カメラが取り付けられる位置もかご毎に異なっている。前章で示した結果は、これら意匠やカメラ位置が異なっても概ね同様の結果となるが、その全体的な傾向は、かご毎に変わってしまう。そこで本アルゴリズムでは、統計量をかご毎に正規化して暴れを判定する。以下ではこのようなかごの違いを考慮した暴れ検出アルゴリズムを示す。

3.1 学習 本アルゴリズムでは、まず、平常時におけるフローの統計量をモデル化する。具体的な学習アルゴリズムは以下ようになる。

1. 学習用に用意された画像間の全点で、SADブロックマッチングによりフローベクトルを求める。その際、マッチングレベルの低いフローは破棄する。

² 役者を雇い、犯罪事例を再現した。詳細は5章で述べる。

2. 大きさが非零のフローベクトルに対し、3つの統計量を求める。すなわち、「向きのばらつき D 」, 「大きさのばらつき M 」, および「個数 N 」を求め、これらの積 ST を以下のように求める。

$$ST = D \times M \times Q \quad (1)$$

3. 画像を変えて、(1) および (2) を繰り返し行い、 ST の平均値 $\bar{ST}$ と標準偏差 σ_{ST} を算出する。平常時におけるフローのモデルとして保持する。

3.2 識別 未知画像における暴れ検出は、次のようにして行う。

1. 未知画像間の全点で、SAD ブロックマッチングによりフローベクトルを求める。その際、マッチングレベルの低いフローは破棄する。
2. 後述のテクスチャ背景差分によって抽出された変化領域中において、大きさが非零のフローベクトルに対し、式 1 より ST を求める。
3. 学習済のフローモデルにより、 ST を学習モデルにより正規化した値 PST を以下のように求める。

$$PST = (ST - \bar{ST}) / \sigma_{ST} \quad (2)$$

4. 正規化された統計量 PST が閾値を越えれば暴れとみなす。

4. 人物有無検知アルゴリズム

人物の閉じ込めなどを検知するためには、まずエレベーター内に人物が存在するかどうかを検知することが必要となる。本論文では、窓付きを含む通常のエレベーターにおいて人物を高精度に検出する手法を提案する。

窓を除く部分は通常変化しない背景であり、人物や物体の有無は背景差分によって検出することが可能である。しかし、エレベーター内の照明は照度が不安定な場合があり、またカメラのゲインも一定ではないため、画像の輝度が大きくふらつく場合がある。さらに、窓付きエレベーターでは外光の影響を受けてかご内の輝度が大きく変動することがある。例えば、窓付きエレベーターの窓から直射日光が入ると Fig.4 のように一部の輝度が通常より大幅に高い画像となる。

したがって、ガウシアンモデルを当てはめるような通常の背景差分では、一時的な直射日光などに対応することができず、誤検知となってしまう。このことから本論文では照明変動に強いテクスチャ背景差分方式⁽⁸⁾を採用した。本方式は画像を格子状のブロックに分割し、それぞれの格子点での背景および入力画像のテクスチャをそれぞれベクトル化して、そのベクトル同士の距離によって背景と前景を分離する。本手法ではエッジやテクスチャの変化さえなければ、大きな照明変動があっても誤検知することはない。

本手法を用いれば人物の有無検知は非常に単純なアルゴリズムで実現できる。画像全体の面積を A 、テクスチャ背景差分により検出された前景の面積を A_N とすれば、以下の条件

$$A_N / A > T_A \quad (3)$$

Fig. 4 ITV camera image of window door elevator with sunlight.

Table 2 Scenario of violent action scene

Rob a bag.
Rob a bag after panching.
Rob a bag after pouncing with a hammer.
Rob a wallet after threatening with a knife.
Rob a bag after pouncing with a knife.
Rob a bag while getting a full nelson.
Becomes the quarrel of an exchange of blows after the dispute.
Run away after trying to rob a bag.
Run away after be offended by self-diffence splay.
Run away after struggling.
Run away after alarm emitted.

を満たすとき人物有りとみなす。ここで T_A は定数である。なお、人物有無検知は人物有りを見逃がすと致命的なため、 T_A は通常小さくとる。

5. 実験結果

5.1 暴れ検知 Fig.5 に示す 8 種類のかご内 ITV カメラ映像を用いて実験を行った。図を見て分かるように、これらの映像は、意匠の異なる 4 種類のエレベーターの 2 箇所からそれぞれ撮影されたものである。各映像には、平常時の利用シーンと、専門の役者によって再現された典型的な犯罪シーン (Table2) が写っている。また評価に際して、256 階調の濃淡画像に変換し、画像を 80×60 画素サイズに縮小した。オプティカルフローは SAD ブロックマッチングで求めた。

Fig.6 に、本アルゴリズムの性能評価結果として、閾値を徐々に変化させて描いた ROC 曲線を示す。縦軸は暴れ状態を見逃した割合 (false rejection)、横軸は平常状態を暴れと誤って検出した割合 (false acception) を表している。数 % の過剰検出時に 85% の正検出率を達成しており、実用的な結果となっている。

5.2 人物有無検知 窓無しおよび窓付きエレベーターをそれぞれ 1 基ずつ実際に稼働させ、1 日間、通常の乗降を行う。これをかご内 ITV カメラで撮像し、各時刻の人物有無の真値データを作成すると共に、提案アルゴリズムにて自動検知する。これらの結果を比較して過剰検知 (false acception) および見逃し (false rejection) をカウントし、その割合を 2 軸のグラフに ROC 曲線として示した。

Fig.7(a),(b) にそれぞれ窓無し、窓付きエレベーターでの上

Fig. 5 Overview of each elevator car(upper: overview from back side, lower: overview from door side).

Fig. 6 ROC curve of violent action detection.

(a) with non-window door

(b) with window door

Fig. 7 ROC curves of object detection.

記 ROC 曲線を示す。これらの結果から分かるのは、検知率 99%以上(見逃し 1%未満)の実運用域において、本手法が誤検知約 1%前後となっていることである。実際には時系列上の複数の検知結果を見て人物有無を総合的に判断するため、1%程度の誤検知は無視し得る程度と考えられる。

6. お わ り に

本論文では、エレベーターかごへの適用を目的とした、動きの統計モデルに基づく暴れおよび人物有無検知システムについて述べた。まず暴れ動作時のオプティカルフローにばらつきが見られることを検証した。そしてフローベクトルの向きと大きさのばらつき、および個数を評価することで暴れを検出するアルゴリズムを示した。さらに窓付きエレベーターなどにも応用できる人物有無検知アルゴリズムを示した。実験では、犯罪事例を再現した模擬映像に対する暴れ検知の有効性、および窓無し、窓付きエレベーターでの人物有無検知の有効性を確認した。今後の課題としては、さらに多様な犯罪に対する検出システムの実現が挙げられる。

文 献

- (1) 社団法人日本エレベーター協会, “協会速報,” 2000 年 1 月号-2003 年 3 月号, Web サイト <http://www.n-elekyo.or.jp/>.
- (2) Ankur Datta, Mubarak Shah and Niels Da Vitoria Lobo, “Person-on-Person Violence Detection in Video Data,” *Proc. of ICPR*, pp.433-438, 2002.
- (3) Nebojsa Jojic, Matthew Turk and Thomas S. Huang, “Tracking Self-Occluding Articulated Objects in Dense Disparity Maps,” *Proc. of ICCV*, Vol.1, pp.123-130, 1999.
- (4) 高田広章, “組込みシステム開発技術の動向,” システム/制御/情報, Vol.45, No.3, pp.115-117, 2001.
- (5) 高橋勝彦, 関進, 小島浩, 岡隆一, “ジェスチャー動画像のスポッティング認識,” 信学論 D-II, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1552-1561, 1994.
- (6) 畠直志, 岩井儀雄, 谷内田正彦, “動き情報と情報圧縮を用いたロバストなジェスチャ認識手法,” 信学論 D-II, Vol.J81-D-II, No.9, pp.1983-1992, 1998.
- (7) 長屋茂喜, 宮武孝文, 藤田武洋, 伊藤渡, 上田博唯, “時間相関型背景判定法による移動物体検出,” 信学論 D-II, Vol.J79-D-II, No.4, pp.568-576, 1996.
- (8) 松山隆司, 和田俊和, 波部齊, 棚橋和也, “照明変化に頑健な背景差分,” 信学論 D-II, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2201-2211, 2001.